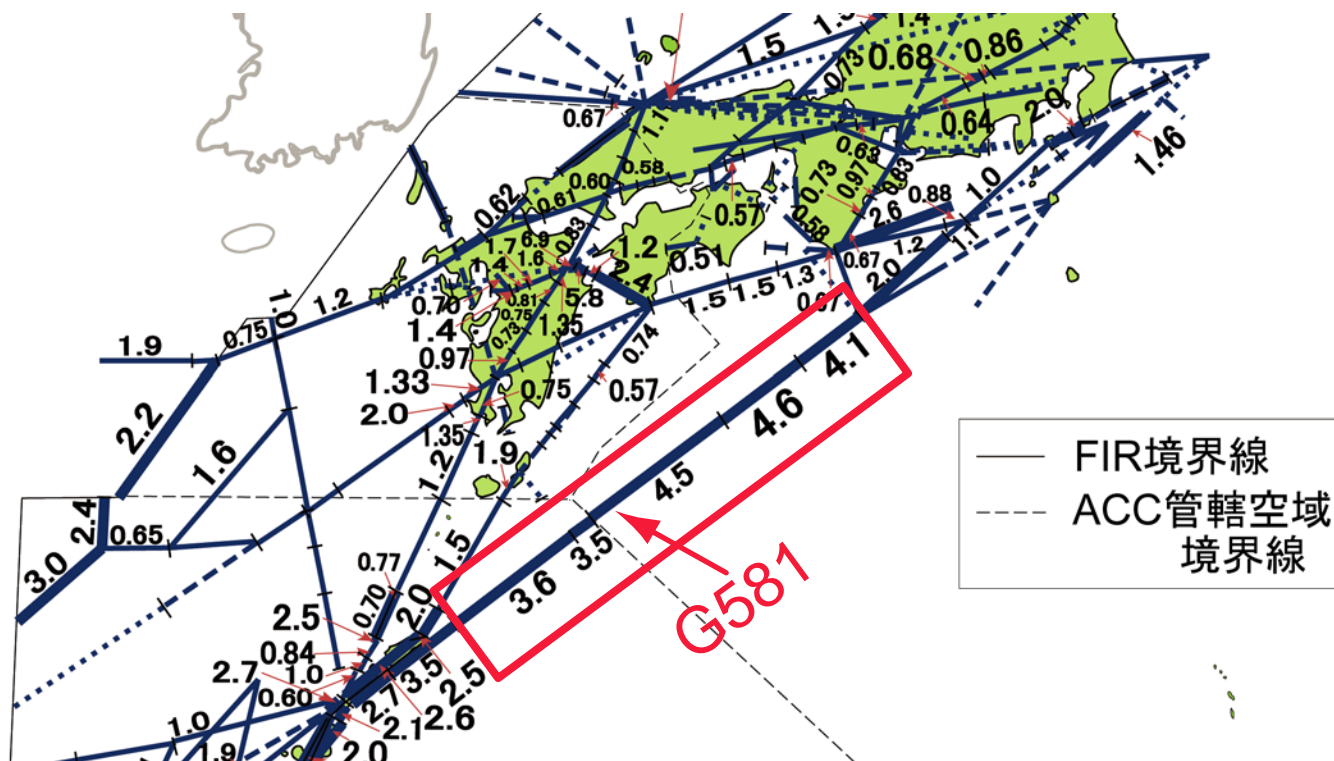
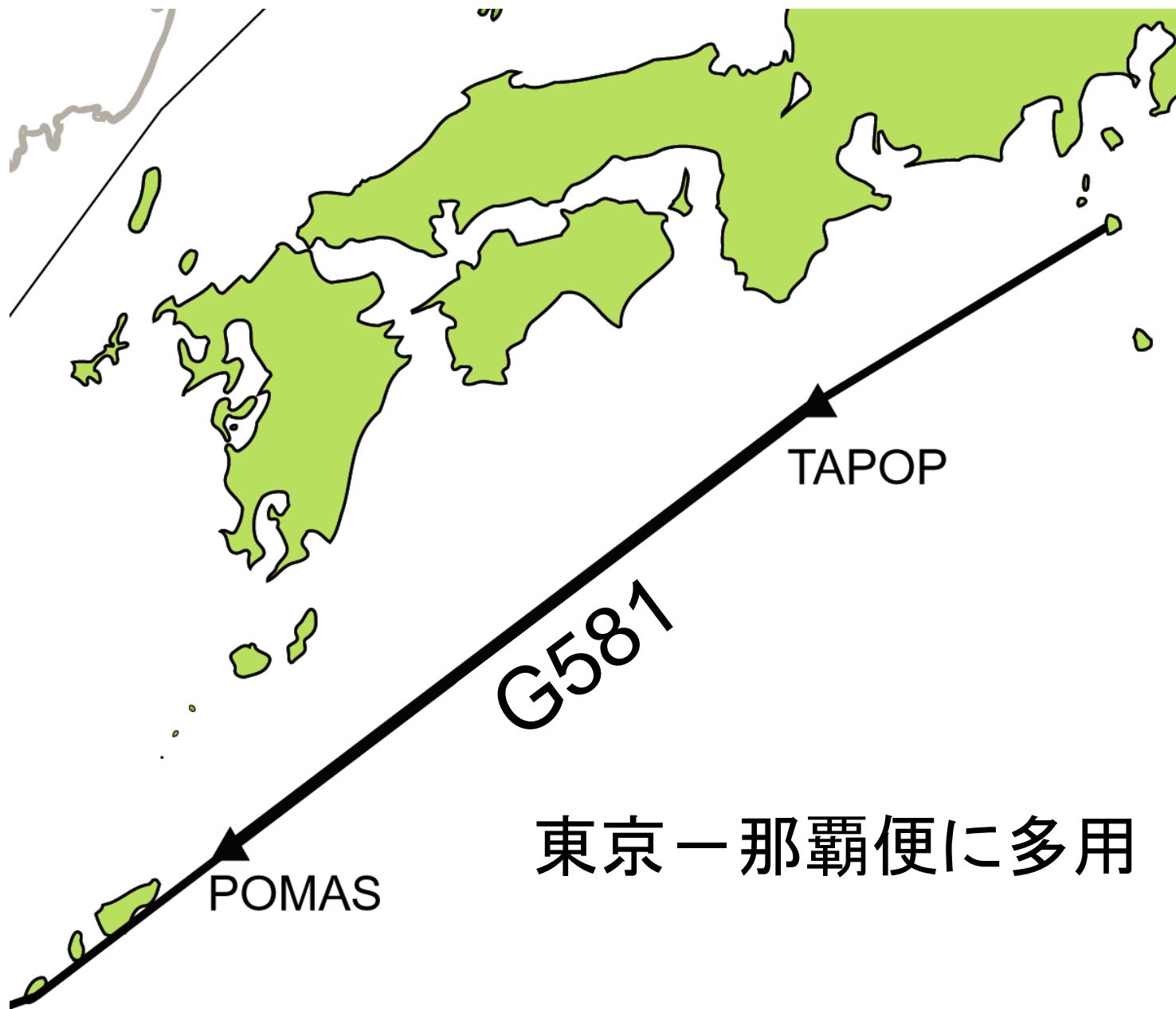


# 交通流の分散による 垂直方向衝突リスクの低減

航空交通監視領域 天井 治、長岡 栄



1. 国内RVSM導入前の**安全性評価**
2. G581ルート**の衝突リスクは最大許容値（目標安全度）を満たさない。**
3. **G581ルートシステムの改編**
4. 改編前後**の衝突リスクを推定**
5. 改編後は**目標安全度を満足**



TAIPOP

G581

POMAS

東京一那覇便に多用

# 内容

## 1. 研究の背景

管制間隔基準、短縮垂直間隔

## 2. 衝突リスク

## 3. 近接通過頻度の概念

## 4. G581ルート改編の概要

## 5. 近接通過頻度の計算結果

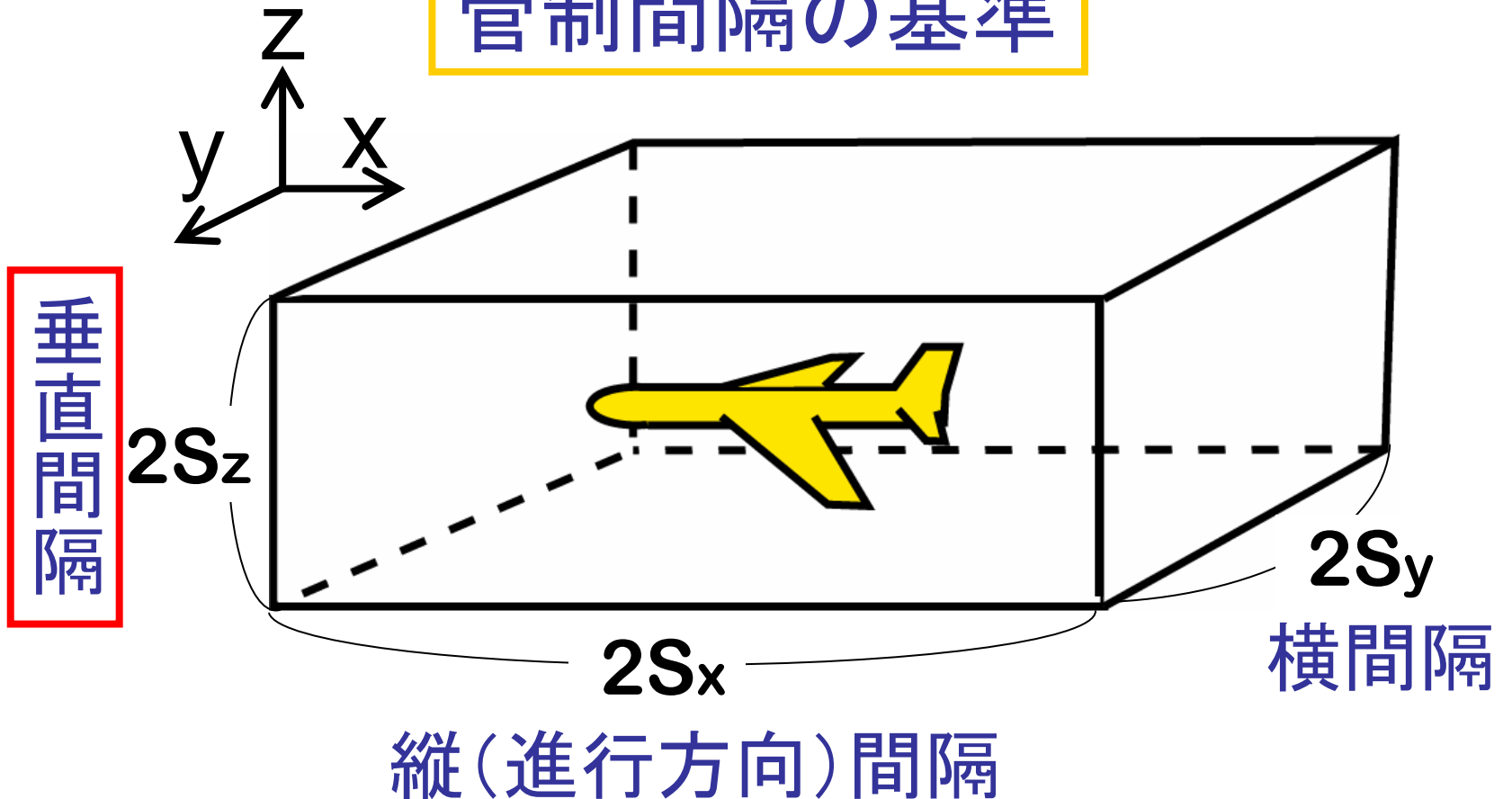
## 6. まとめ

# 研究の背景

# 管制間隔

安全で効率的な航空機の運航

管制間隔の基準



短縮垂直間隔 (RVSM)

航空機の最適高度



燃料消費量の最も少ない高度

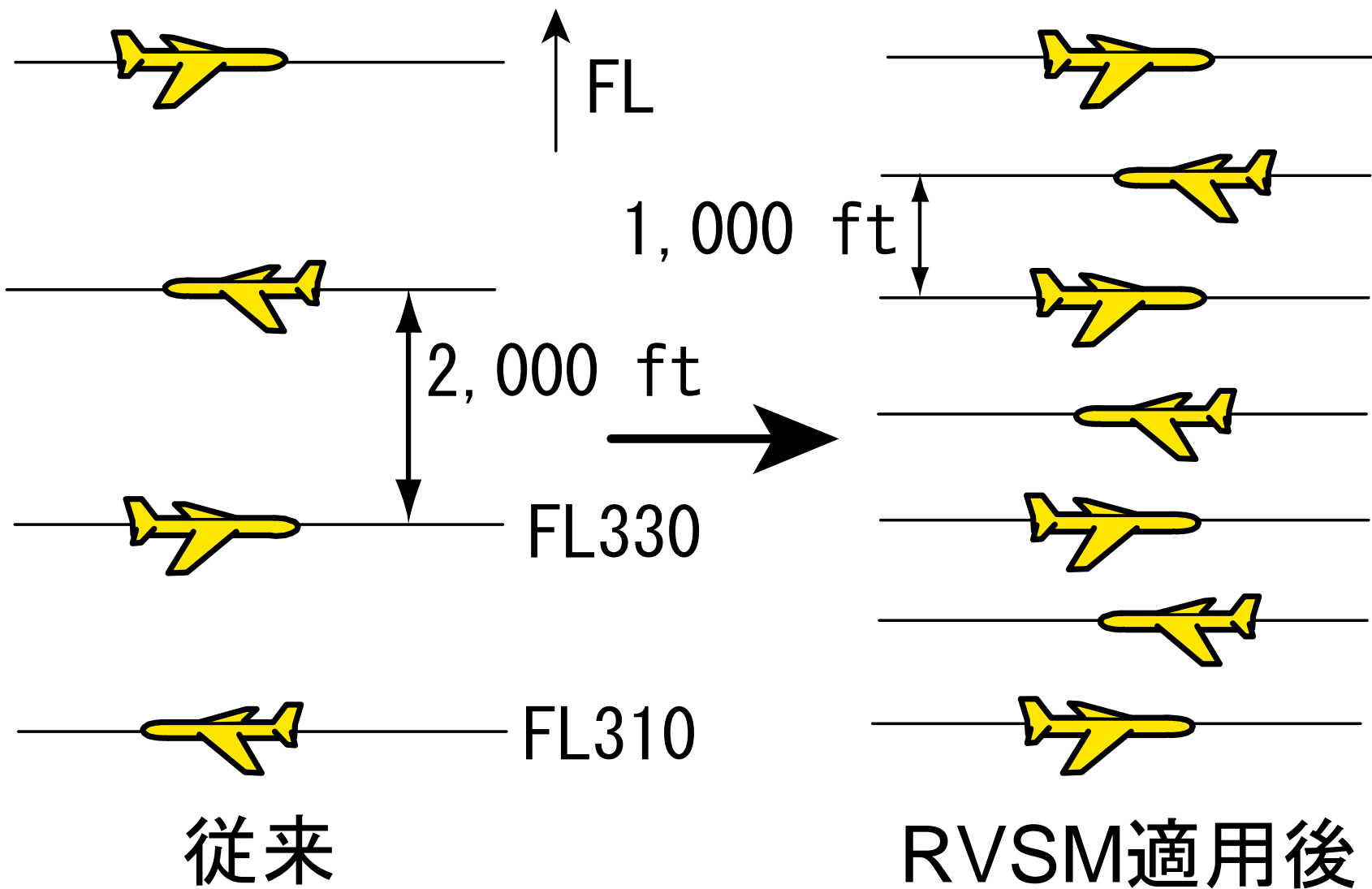
国内空域の垂直間隔

FL290以上で2,000 ft



1,000 ftにできれば、多くの航空機をより経済的な高度に飛ばせる。





1 ft = 0.3048 m

2005年9月30日 日本の国内空域  
に1,000 ft垂直間隔(短縮垂直間隔  
: RVSM (Reduced Vertical  
Separation Minimum))導入実施



導入前に**安全性の評価**

衝突リスクの推定、評価

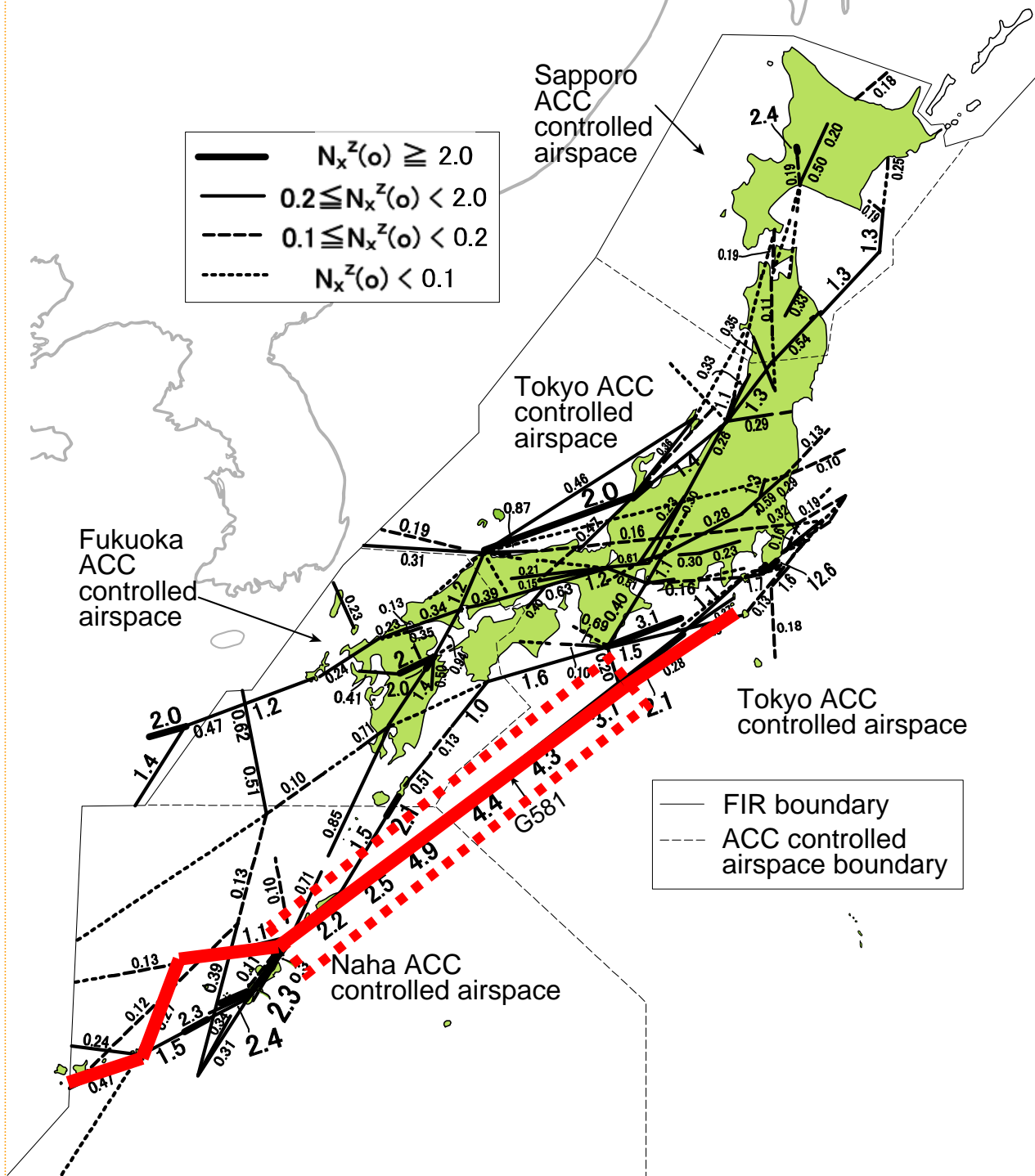
近接通過頻度の推定

## 平成15年度の事前評価の結果

- ・ **全対象空域の平均値**は衝突リスクの許容値(目標安全度) $2.5 \times 10^{-9}$  [件／飛行時間]を**満たす**。
- ・ **G581ルート**における値は、目標安全度を**満たさない**。

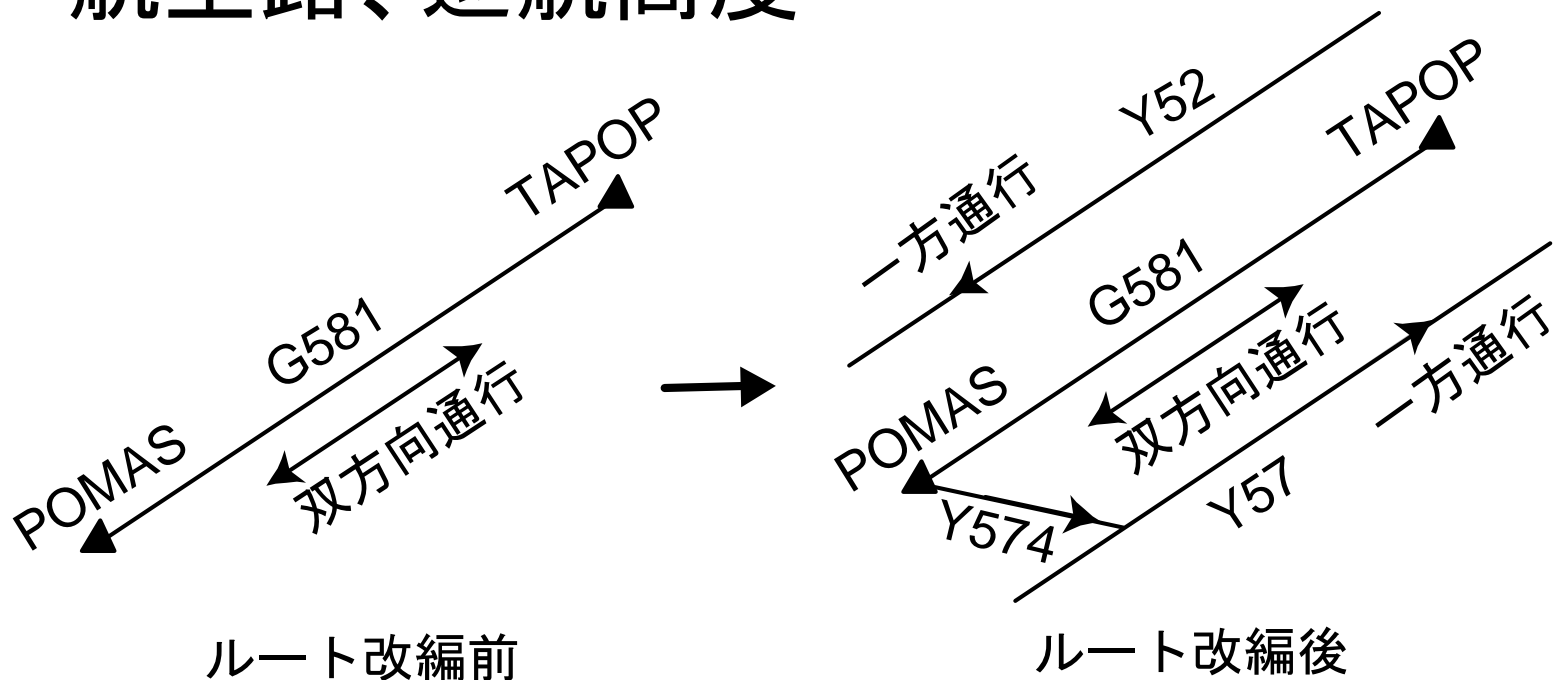


G581でも目標安全度を満たすようにするために2005年2月17日ルートを改編



**G581ルートシステム**の改編前後の  
近接通過頻度（航空機同士が進行方  
向ですれ違う頻度の2倍）を比較し、  
**ルート改編の効果**を調べる。

## 航空路、巡航高度



衝突リスク

# 垂直方向の衝突リスク

垂直間隔の喪失により起こる航空機衝突事故件数の単位飛行時間あたりの期待値（1衝突＝2事故）

$$N_{az}(0+s) = P_z(S_z) P_y(0) [N_x^z(0)K(0) + N_x^z(s)K(s)]$$

進行方向ですれ違う頻度

横方向重畳確率

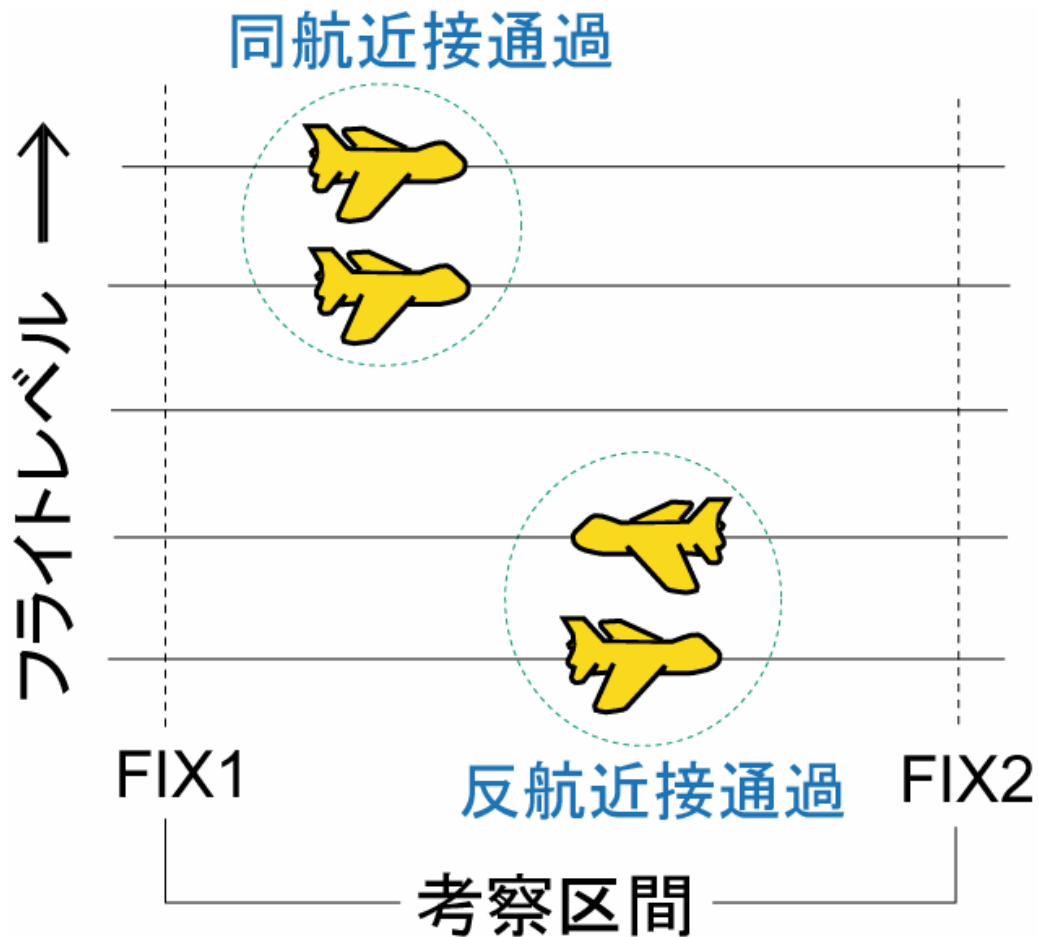
垂直方向重畳確率

近接通過頻度



# 隣接FLの航空機との近接通過：

ある航空機が同一経路上の隣接FLを飛行する航空機と進行方向で重なる事象



# 近接通過頻度の計算方法

$$N_x^z(o/s) = \frac{2n_p^z(o/s)}{H} \quad [\text{機} / \text{飛行時間}]$$

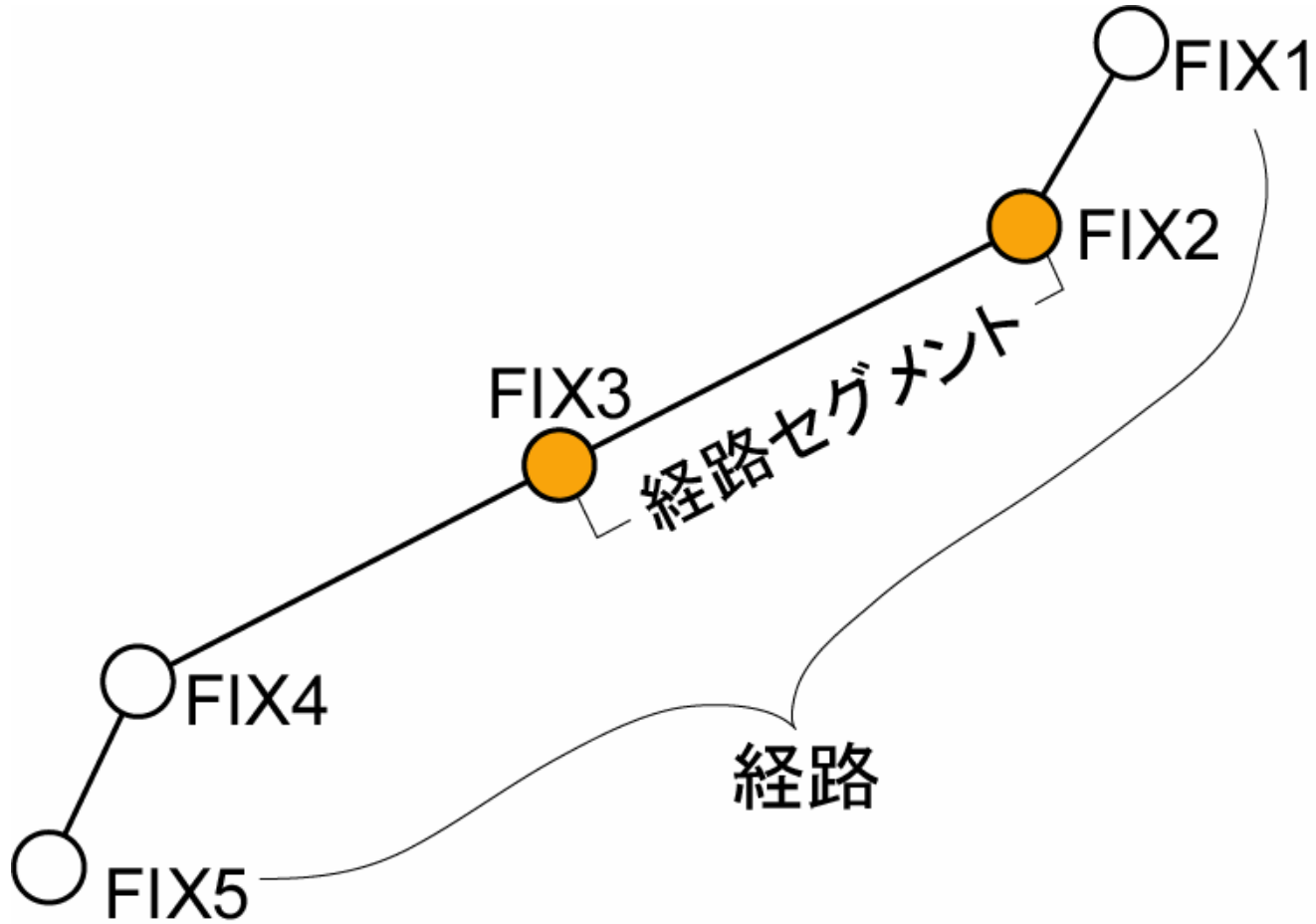
$n_p^z(o/s)$  : 観測時間内、考察区間内で起こる垂直方向近接通過の回数

$H$  : 航空機が考察区間内の通過に要した時間の総和 (総飛行時間)

$o$  : 反航

$s$  : 同航

# 経路分割(垂直方向)



$$N_x^z(o/s) = \frac{2 \sum_i (n_p^z(o/s))_i}{\sum_i H_i}$$

$(n_p^z(o/s))_i$  : 経路セグメント  $i$  における  
近接通過回数

$H_i$  : 経路セグメント  $i$  における  
総飛行時間

## 等価反航近接通過頻度

$$N_x^z(e) = N_x^z(o) + \frac{K(s)}{K(o)} \times N_x^z(s)$$

$$\frac{K(s)}{K(o)} = \frac{1 + \frac{\lambda_x}{|\Delta V_x|} \left( \frac{|\overline{\Delta V_y}|}{\lambda_y} + \frac{|\overline{\Delta V_z}|}{\lambda_z} \right)}{1 + \frac{\lambda_x}{2|V|} \left( \frac{|\overline{\Delta V_y}|}{\lambda_y} + \frac{|\overline{\Delta V_z}|}{\lambda_z} \right)}$$

1.61として計算

目標安全度  $2.5 \times 10^{-9}$  [件／飛行時間]

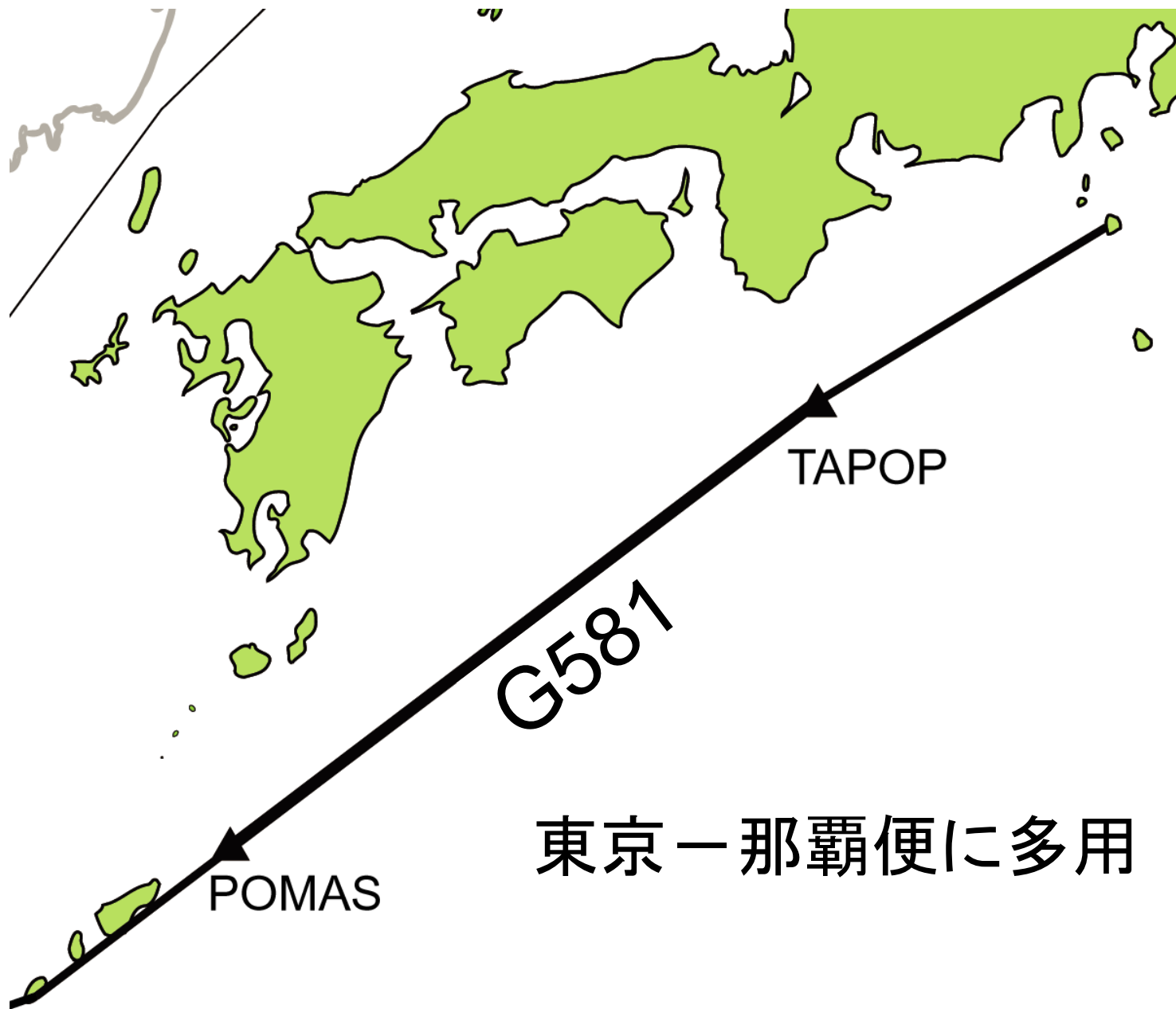
衝突リスクがこれを満たすためには  
 $N_x^z(e)$ は幾つであればよいか？

$$N_{az}(o+s) = P_z(1,000) \times P_y(0) \times N_x^z(e) \times K(o)$$

$2.5 \times 10^{-9}$	$1.7 \times 10^{-8}$	0.091	?	1.02
----------------------	----------------------	-------	---	------

$$N_x^z(e) \leq 1.6 \text{ [機／飛行時間]}$$

G581ルート



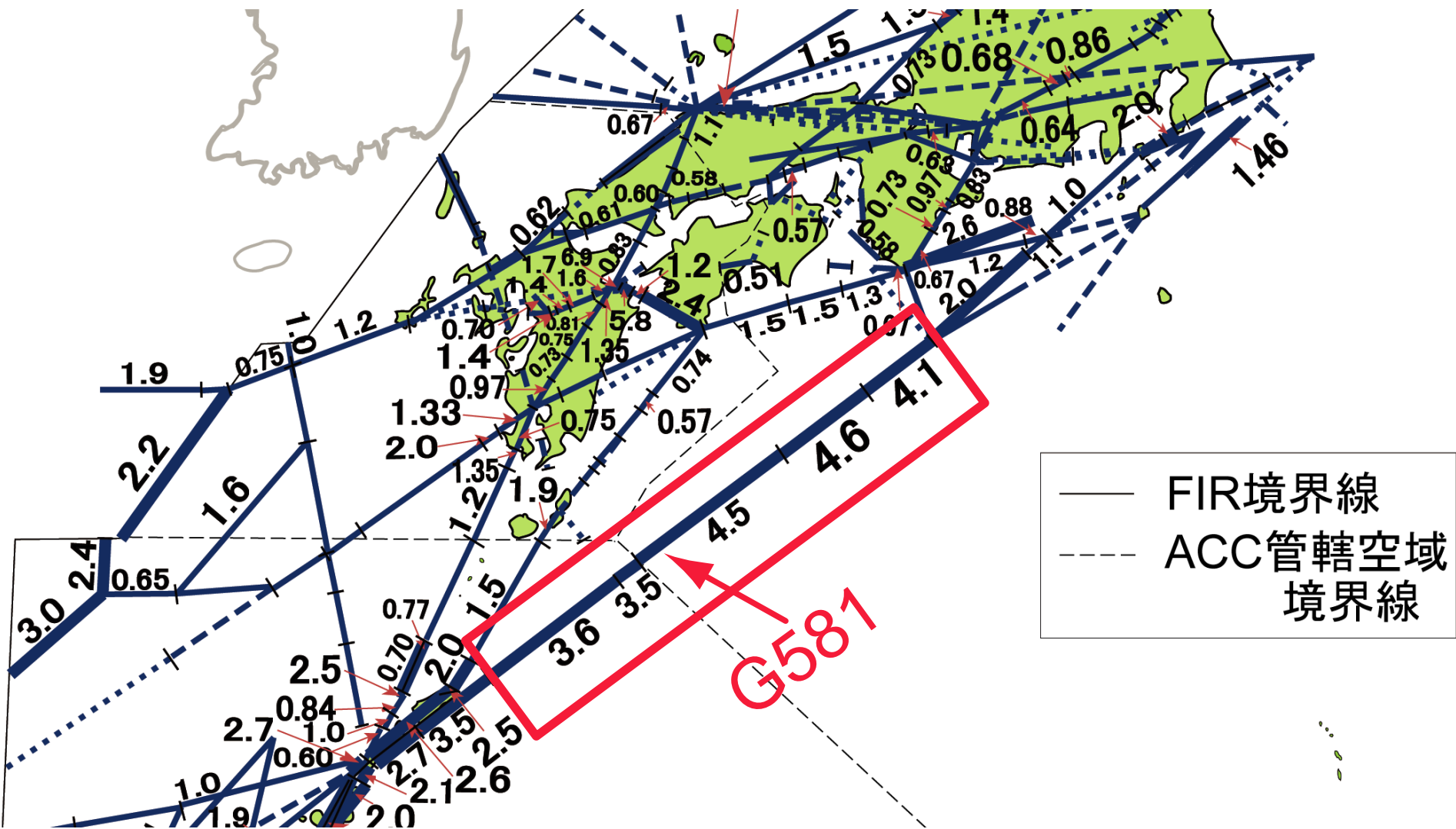
TAPOP

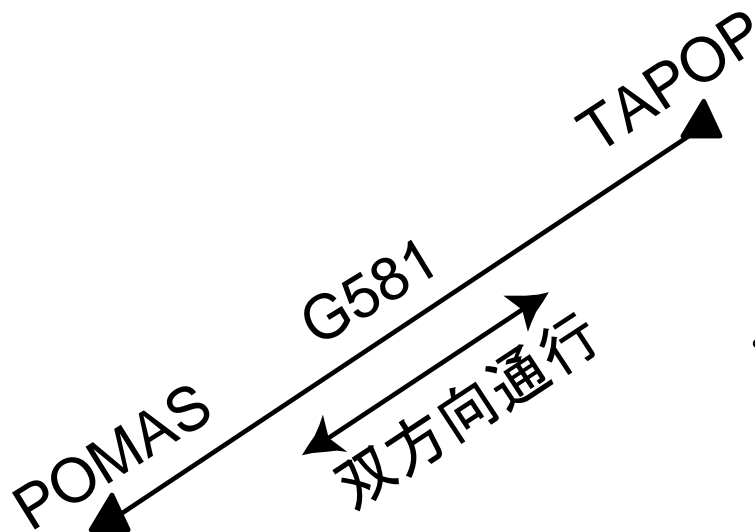
G581

POMAS

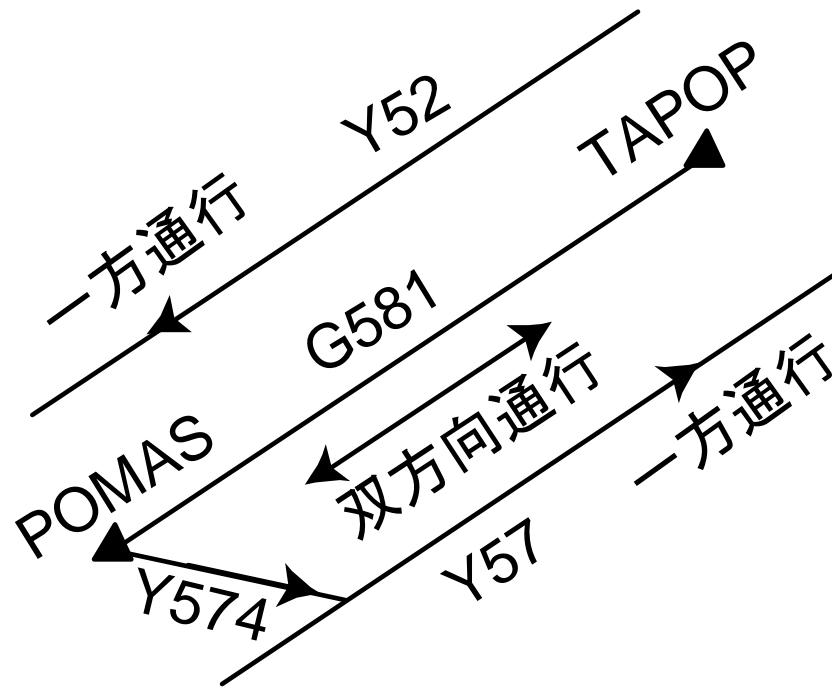
東京－那覇便に多用







ルート改編前



ルート改編後

## 衝突リスクの推定における仮定

- (1)国内短縮垂直間隔導入時は2,000 ft間隔での交通量の分布がそのまま1,000 ft間隔に移行
- (2)航空機は、短縮垂直間隔の最低航空機システム性能要件を満たす。  
 $P_z(1,000)=1.7 \times 10^{-8}$  と仮定

# 計算対象と使用データ

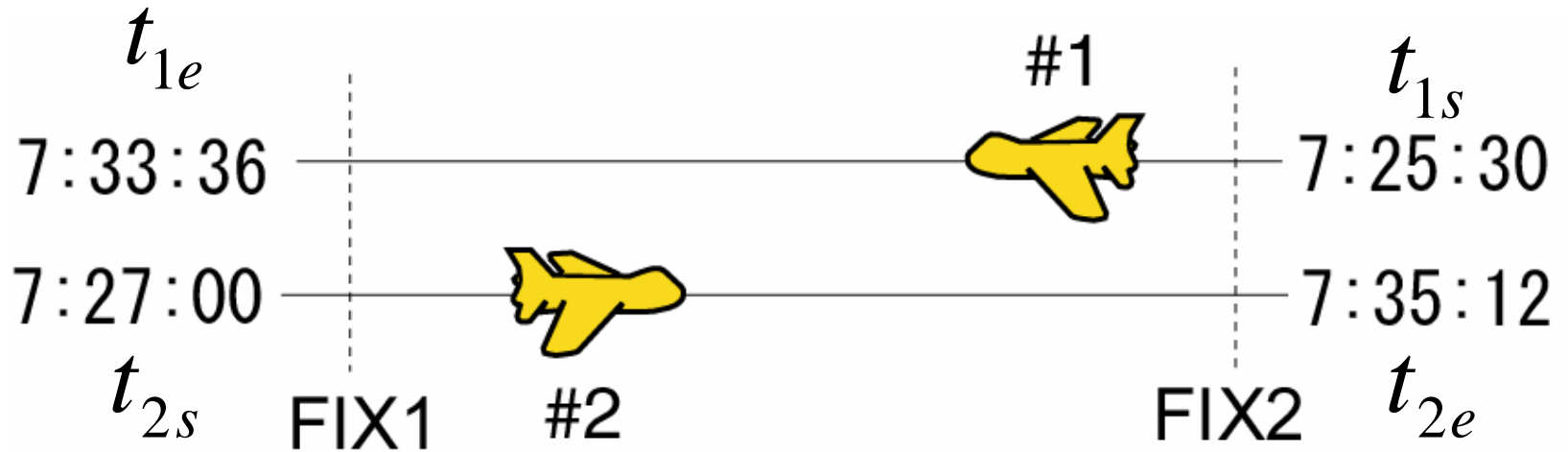
**対象機**: G581ルートシステム (TAPOP-POMAS) を **FL290以上FL410以下** で飛行した全ての航空機

**使用データ**: 2004年2月から2005年8月までの **飛行計画情報**

**計算方法**: 飛行計画情報に記載されている位置通報点 (FIX) の **通過時刻**、**飛行高度** 等の情報を用いて、経路セグメント毎に **近接通過頻度** を計算

# 近接通過頻度の計算

# ①航空機はFIX間を等速で飛行と仮定

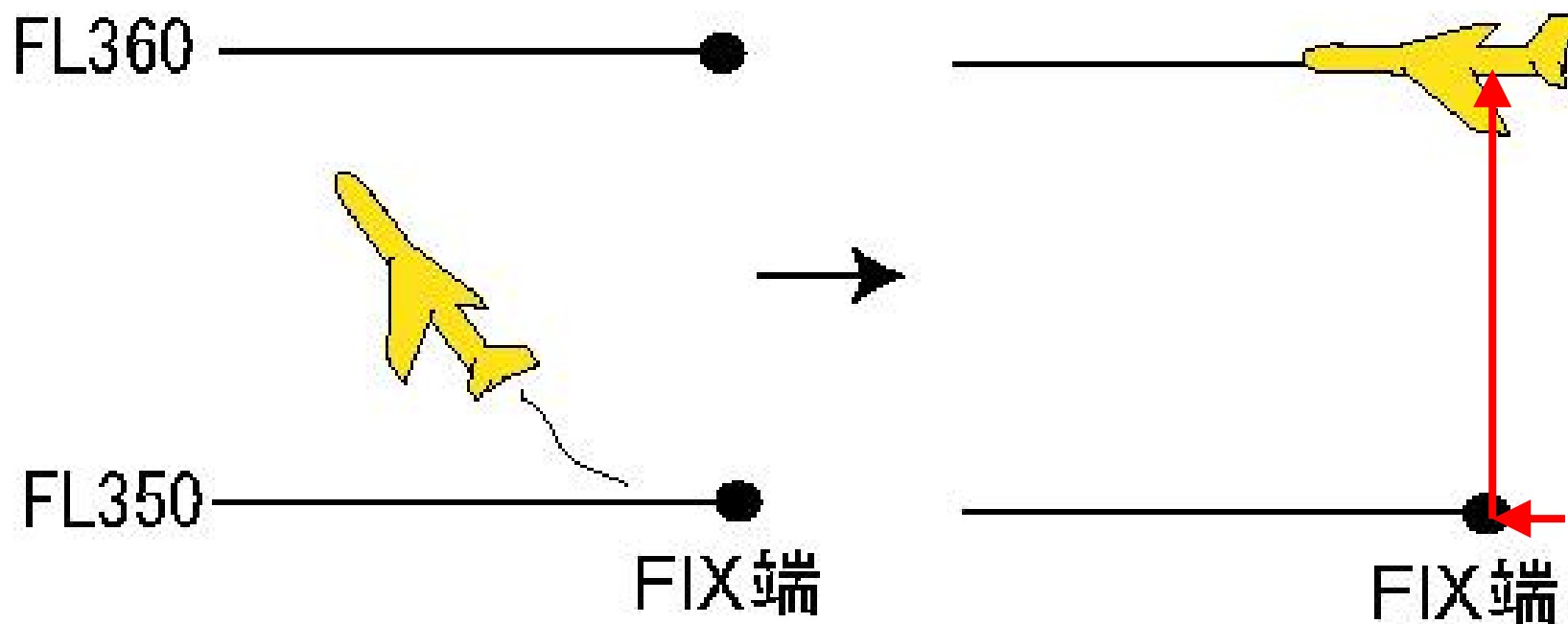


$$t_p = \frac{H_2 t_{1s} + H_1 t_{2s} + H_1 H_2}{H_1 + H_2}$$

→ 7:30:19

$$H_1 = t_{1e} - t_{1s}, \quad H_2 = t_{2e} - t_{2s}$$

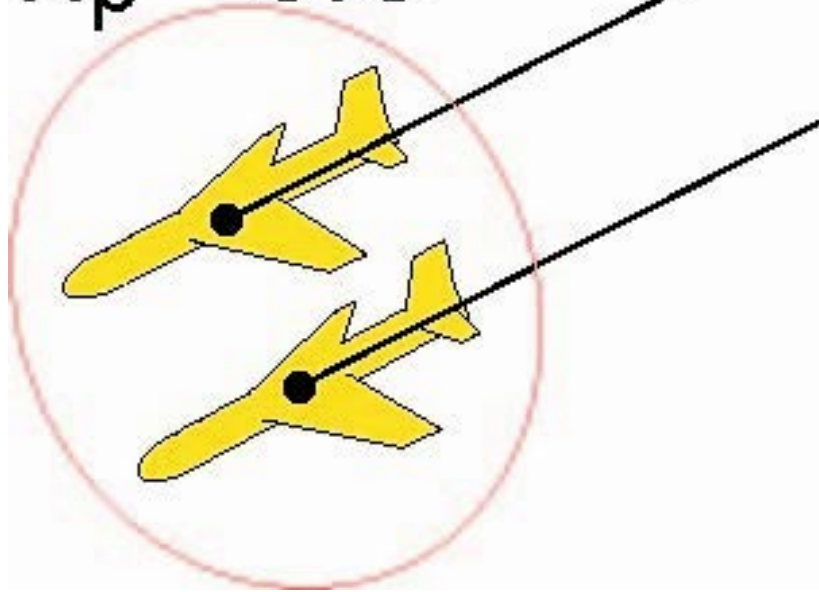
- ② **高度変更**時は、直前に通過したFIXで直ちに高度を変更したものと見なす





③ ルートセグメント端での近接通過は  
0.5回と計数

$$n_p^r = 0.5$$

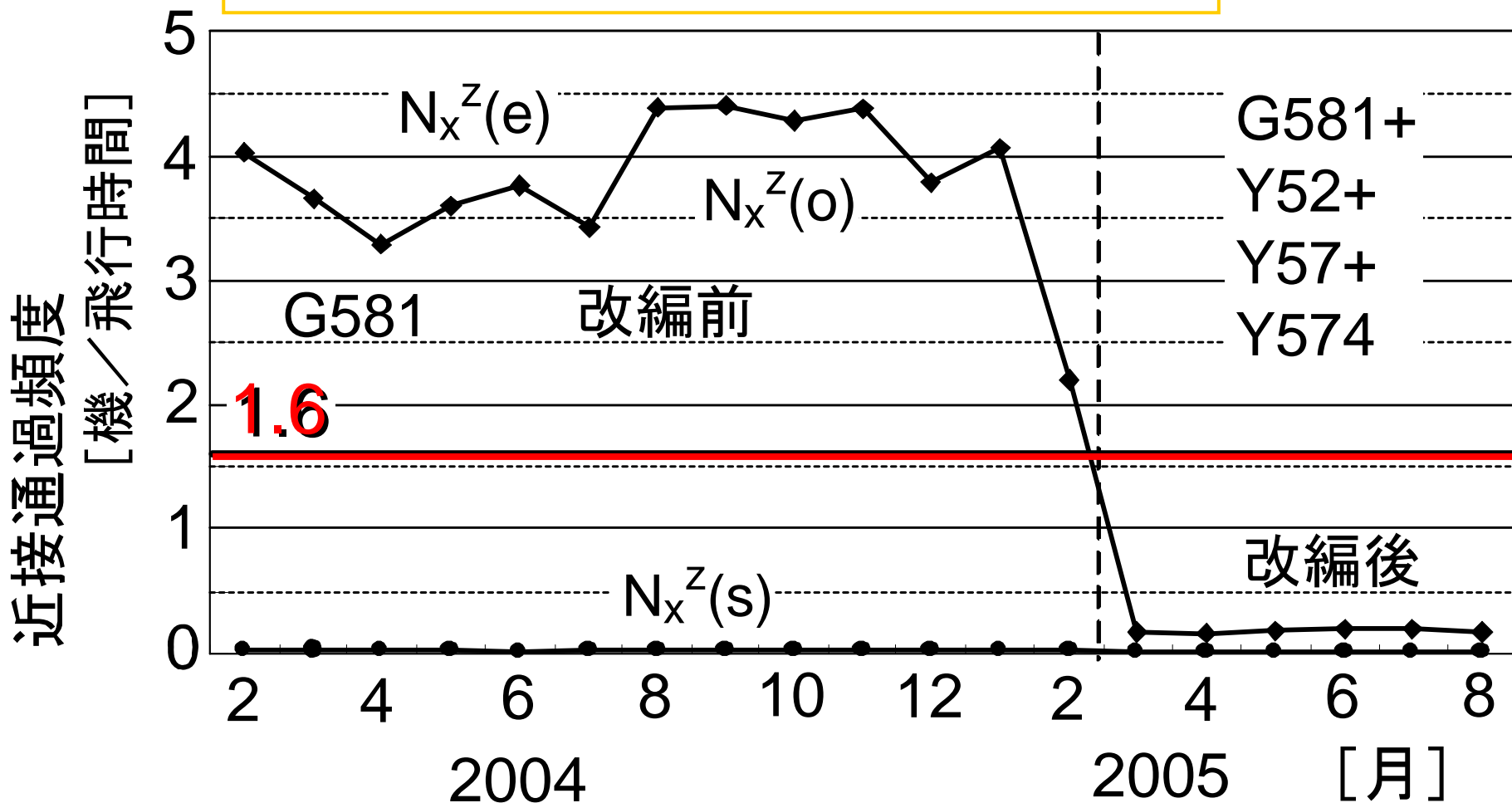


④ **経路変更**の際、経路間を飛行中の航空機との近接通過は無視



# 結果

$$N_x^z(e) = N_x^z(o) + \frac{K(s)}{K(o)} \times N_x^z(s)$$



ルート改編前後の近接通過頻度の変化

## ルート改編前後の $N_x^z(e)$ の平均値

改編前12ヶ月 3.96 [機／飛行時間]

改編後6ヶ月 0.20 [機／飛行時間]

$$0.20/3.96 \doteq 1/20$$

## G581、Y52、Y57 (Y574を含む)の 交通量の割合 (6ヶ月の平均値)

G581 28%

Y52 33%

Y57 39%

# まとめ

G581ルートシステムの改編前後の近接通過頻度を比較して、改編の効果を調べた。



- 近接通過頻度の平均値

改編後 0.2 [機／飛行時間]

改編後は改編前の約1/20

- ルート改編後、G581は目標安全度を満たす。

# 今後の課題

- 短縮垂直間隔導入後の調査
- レーダデータによる近接通過頻度の計算